

Несостоятельность доказательства теоремы Карно, которое дал Вильям Томсон¹

В.Н. Игнатович²

Резюме

Вильям Томсон доказал теорему Карно, основываясь на постулате «Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов». В настоящей работе показано, что теорему Карно можно доказать на основе постулата, противоположного постулату Томсона: «Невозможно затратить механическую работу на нагревание самого холодного из окружающих предметов». Делается вывод о том, что теорема Карно не вытекает из постулата Томсона.

1. Введение

Идеальная тепловая машина Карно описана почти во всех курсах физики и термодинамики (см. например [3, с.41-45; 6, с.73-76; 7, с.83-86; 8, с.97-99; 10, с.34-36]).

Машина Карно работает по обратимому циклу Карно. Цикл Карно включает четыре стадии: 1) изотермическое расширения рабочего тела при температуре T_1 , равной температуре горячего резервуара тепла; 2) адиабатическое расширения рабочего тела, при котором его температура понижается до температуры T_2 , равной температуре холодного резервуара тепла; 3) изотермическое сжатие рабочего тела при температуре T_2 ; адиабатическое сжатие рабочего тела, при котором его температура повышается до температуры T_1 .

В прямом цикле Карно машина получает от нагревателя за один цикл количество теплоты Q_1 , передает холодильнику количество теплоты Q_2 ($Q_2 < Q_1$), а разность $Q_1 - Q_2$ преобразует в работу L , которая может быть использована для поднятия груза.

В обратном цикле Карно машина получает от холодильника за один цикл количество теплоты Q_2 , передает нагревателю количество теплоты Q_1 и преобразует в теплоту работу L , полученную, например, за счет опускания груза

$$Q_1 = Q_2 + L.$$

Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины (коэффициентом полезного действия цикла) η определяется формулой:

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

¹ Ранее опубликовано на английском языке: Ihnatovych V. Inconsistency of Carnot's theorem's proof by William Thomson //arXiv:1303.5276 [physics.hist-ph] (URL: <http://arxiv.org/abs/1303.5276>).

² Кафедра философии Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» (Киев, Украина).

Согласно теореме Карно, коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины Карно не зависит от вида рабочего тела, применяемого в машине (см. например [3, с.44-45; 6, с.75-76; 7, с.80-86; 8, с.98; 10, с.34-41]).

В.Томсон привел в работе «О динамической теории теплоты» такую формулировку теоремы Карно: «Если какая-либо машина устроена таким образом, что при работе ее в противоположном направлении все механические и физические процессы в любой части ее движений превращаются в противоположные, то она производит ровно столько механической работы, сколько могла бы произвести за счет заданного количества тепла *любая* термодинамическая машина с теми же самыми температурами источника тепла и холодильника» [9, с.164].

Выше он написал: «Вся теория движущей силы теплоты основывается на следующих двух положениях, обязанных своим происхождением первое – Джоулю, а второе – Карно и Клаузиусу» [9, с.164]. Приведенную теорему он назвал «Положение II (Карно и Клаузиуса)».

В.Томсон доказал теорему Карно, основываясь на постулате: «*Невозможно при помощи неодоушевленного материального деятеля получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов*» [8, с.165].

Постулат Томсона эквивалентен постулату Клаузиуса [5, с.133-134], согласно которому, теплота не может перетекать самопроизвольно от более холодного к более нагретому резервуару (см. например [3, с.42; 6, с.74; 7, с.92-93; 8, с.93-94; 10, с.36]).

А. А. Гухман показал, что теорема Карно может быть доказана на основе «антипостулата», противоположного постулату Клаузиуса, согласно которому теплота не может перетекать самопроизвольно от более нагретого к более холодному резервуару [1, с.79-80; 2, с.340-341] (см. также [4]).

Покажем, что теорему Карно можно доказать, основываясь на «антипостулате», противоположном постулату Томсона: «Невозможно затратить механическую работу на нагревание самого холодного из окружающих предметов».

2. Доказательства теоремы Карно на основе постулата Томсона

Предположим, имеются две машины Карно, КПД которых равны, соответственно, η_1 и η_2 , причем $\eta_1 > \eta_2$. Машина 1 работает по прямому циклу Карно, машина 2 – по обратному циклу Карно. Машина 1 за один цикл получает от горячего тела количество теплоты Q_1 , передает холодному телу количество теплоты Q_2 , производит работу L . Машина 2 получает от холодильника количество теплоты Q_2' , получает от машины 1 количество работы L' , передает горячему телу количество теплоты Q_1 .

$$Q_1 = Q_2 + L = Q_2' + L'.$$

Поскольку $\eta_1 > \eta_2$, то $Q_2' > Q_2$; $L' < L$.

Машина 1 производит работу L . Часть этой работы, равная L' , передается машине 2, часть, равная $L - L'$, расходуется на поднятие груза G (см. рис.1).

$$L - L' = Q_2' - Q_2.$$

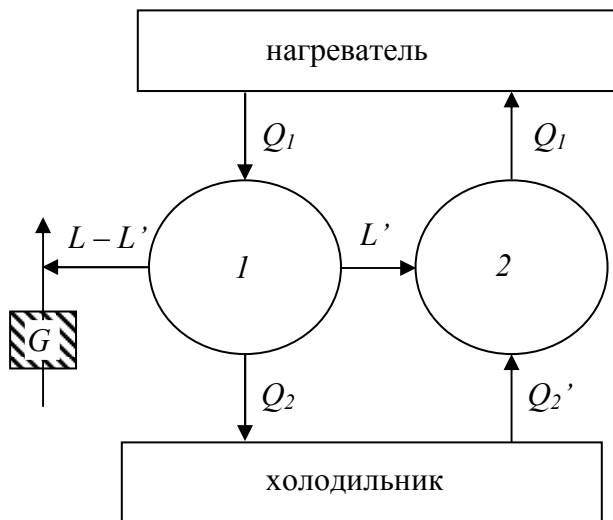


Рис.1

Результатом работы двух машин является поднятие груза и охлаждение холодильника. Это противоречит постулату Томсона «Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов». Следовательно, предположение $\eta_1 > \eta_2$ ложно.

Предположил, $\eta_1 < \eta_2$. Тогда при работе машины 1 по обратному циклу Карно, а машины 2 – по прямому циклу Карно, снова получается результат, противоречащий постулату Томсона.

КПД машины 1 не может быть ни меньше, ни больше КПД машины 2.

КПД машины Карно не зависит от вида рабочего тела.

3. Доказательства теоремы Карно на основе «антипостулата»

Предположим, имеются две машины Карно, КПД которых равны соответственно, η_1 и η_2 , причем $\eta_1 < \eta_2$. Машина 1 работает по прямому циклу Карно, машина 2 – по обратному циклу Карно. Машина 1 за один цикл получает от нагревателя количество теплоты Q_1 , передает холодильнику количество теплоты Q_2 , производит работу L . Машина 2 получает от холодильника количество теплоты Q_2' ,

получает от машины 1 количество работы L , получает от внешнего источника – количество работы $L' - L$, передает нагревателю количество теплоты Q_1 .

$$Q_1 = Q_2 + L = Q_2' + L'.$$

Поскольку $\eta_1 < \eta_2$, то $Q_2 > Q_2'$; $L < L'$.

Машина 2 потребляет работу L , производимую машиной 1, и работу $L' - L$, которая получается за счет опускания груза G (см. рис.2).

$$L' - L = Q_2 - Q_2'.$$

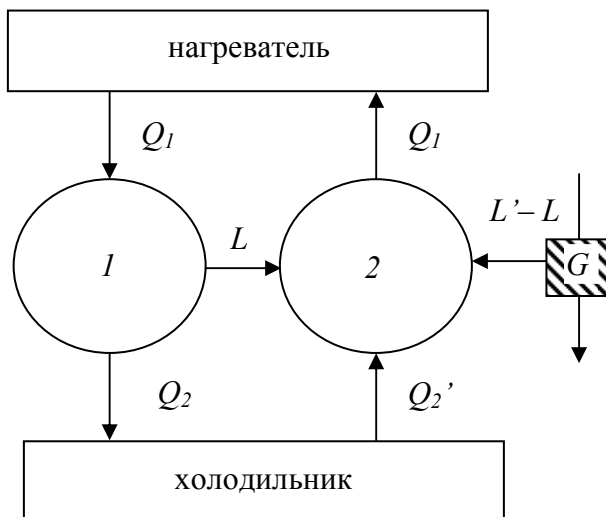


Рис.2

Результатом работы двух машин является опускания груза и нагревание холодильника. Это противоречит «антипостулату»: «Невозможно построить периодически действующую машину, вся деятельность которой сводится к опусканию тяжести и нагреванию теплового резервуара».

Предположение $\eta_1 < \eta_2$ ложно.

Предположил, что $\eta_1 > \eta_2$. Тогда при работе машины 1 по обратному циклу Карно, а машины 2 – по прямому циклу Карно, снова получается результат, противоречащий «антипостулату».

КПД машины 1 не может быть ни меньше, ни больше КПД машины 2.

КПД машины Карно не зависит от вида рабочего тела.

5. Обсуждение

Из двух противоположных суждений не может следовать одно и то же истинное заключение. Поскольку доказательство теоремы Карно существенно не изменилось при замене постулата Томсона – противоположным «постулатом»,

можно заключить, что теорема Карно не находится в логической связи с постулатом Томсона.

Этот результат согласуется с выводом, сделанным А. А. Гухманом в отношении постулата Клаузиуса.

Из этого, однако, нельзя делать заключения о ложности теоремы Карно, а также о ложности постулатов Клаузиуса или Томсона.

6. Выводы

Доказательство теоремы Карно на основе постулата Томсона является ошибочным. Теорема Карно не следует из постулата Томсона *«Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов»*. Доказательство теоремы Карно, которое дал В.Томсон, необходимо изъять из курсов термодинамики.

7. Список литературы

1. Гухман А. А. Об основаниях термодинамики. – Алма-Ата: Изд-во АН Каз. ССР, 1947. – 106 с.
2. Гухман А. А. Об основаниях термодинамики. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 384 с.
3. Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика. – М.: Изд-во иностр. Литературы, 1955. – 480 с.
4. Игнатович В. Несостоятельность доказательства теоремы Карно, которое дал Р.Клаузиус (Ihnatovych V. Inconsistency of Carnot's theorem's proof by R. Clausius) // arXiv:1303.2123 [physics.hist-ph] (<http://arxiv.org/abs/1303.2123>).
5. Клаузиус Р. Механическая теория тепла // Второе начало термодинамики. – М.-Л.: Гостехтеориздат, 1934. – С.71-158.
6. Кубо Р. Термодинамика. – М.: Мир, 1970. – 304 с.
7. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. – М.: Мир, 2002. – 461 с.
8. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Теплота и молекулярная физика /Изд. 2-е, исправленное. – М.: Наука, 1979. – 552 с.
9. Томсон-Кельвин В. О динамической теории теплоты // Второе начало термодинамики. – М.-Л. Гостехтеориздат, 1934. – С. 161-174.
10. Ферми Э. Термодинамика. – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1969. – 140 с.